

## ЛИТЕРАТУРА

1. Wright G.T. Small-signal characteristics of semiconductor punch-through injection and transit time diodes // Sol.St. Electron.-1973.- V.16, № 8.- P.903-912.
2. Harutunian V.M., Buniatian V.V. The influence of capture of the injected current carriers on the characteristics of BARITT diodes // Sol.St. Electron.-1977.- V.20, № 6.- P.491-496.
3. Екноян О., Sze S.M and Yang E.S. Microwave BARITT diode with retarding field // Sol. St. Electron. - 1977. - V. 20, № 4. - P. 285-291.
4. Арутюнян В.М., Буниатян В.В. Инжекционно-пролетные диоды. - Ереван: Изд. ЕГУ, 1986. - 226 с.
5. Wright G.T and Sultan N.B. Small-signal design theory and experiment for the punch-through injection transit time oscillator // Sol.St. Electron. - 1973. - V. 16, № 4. - P. 535-544.
6. Арутюнян В.М., Буниатян В.В. ВЧ характеристики ИПД с неоднородно распределенной примесью в пролетной области // Тезисы докладов 1-й Национальной конф. "Полупроводниковая микроэлектроника", 22-23 мая, Дилижан / ЕГУ. - 1997. - С. 95-99.

ГИУА

15.10.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1998, с. 216-221.

УДК 621.376.56

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

О.В. БАГДАСАРЯН, О.А. ГОМЦЯН, Д.М. МЕГАВОРЯН

### КОДИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Աշխատանքում ներկայացվում են կոդերի տարբեր տեսակներ, որոնք օգտագործվում են ինչպես սովորական կարգիներում, այնպես և կապի թելքա-օպտիկական գծերում Նախնականում են լայն տարածված կոդերը, դիտարկվում են դրանց հիմնական բնութագրերը, սրվում հանձնարարականներ կապի թվային թելքա-օպտիկական համակարգերում համապատասխան կոդերի ընտրության համար:

Приводятся различные виды кодов передачи, которые используются как в обычных кабельных, так и в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС). Дается сравнение наиболее распространенных кодов, рассматриваются их основные характеристики. Предлагаются рекомендации по выбору соответствующих кодов и их преобразований для цифровых волоконно-оптических систем связи (ВОСС).

Ил. 3. Библиогр.: 7 назв.

Different kinds of communication codes are proposed. They are used both in usual cables and fiber-optic communication lines. The comparison of the most widespread codes is given, their main characteristics are discussed. The recommendations about the choice of suitable codes and their conversions for digital fiber-optic communication systems are proposed.

Ил. 3. Ref. 7.

В последние годы широкое распространение получили цифровые системы передачи (ЦСП) информации. При этом основными методами аналого-цифрового преобразования являются ИКМ, дифференциальная ИКМ и ДМ. Для повышения эффективности и качества ЦСП важным является выбор соответствующего линейного сигнала (кода передачи), к которому в общем случае предъявляются следующие основные требования [1-3, 5]:

1. Независимость от источника информации и однозначность декодирования, т.е. возможность передачи любого типа сообщений (речь, музыка, телевидение, данные и т.д.) с большой достоверностью.

2. Эффективность кода, определяемая отношением количества информации сигналов на выходе и входе преобразователя кода.

3. Возможность обнаружения и исправления (коррекции) ошибок.

4. Оптимальный энергетический спектр для согласования характеристик сигнала с ВОК. При этом спектр сигнала должен иметь:

- незначительную низкочастотную составляющую без постоянной составляющей для уменьшения межсимвольных искажений (МСИ) в регенераторах;

- низкую мощность высокочастотной составляющей, т.е. более узкую полосу частот сигнала, для уменьшения переходных влияний и мощности тепловых шумов на входе регенератора (приемника).

5. Наличие информации о синхросигнале, используемом для задания тактового интервала при регенерации и синхронизации приемного и передающего оборудования.

В радиотехнике, связи, вычислительной технике наибольшее применение получили двоичные коды, достаточно полное описание и классификация которых приведены в [7].

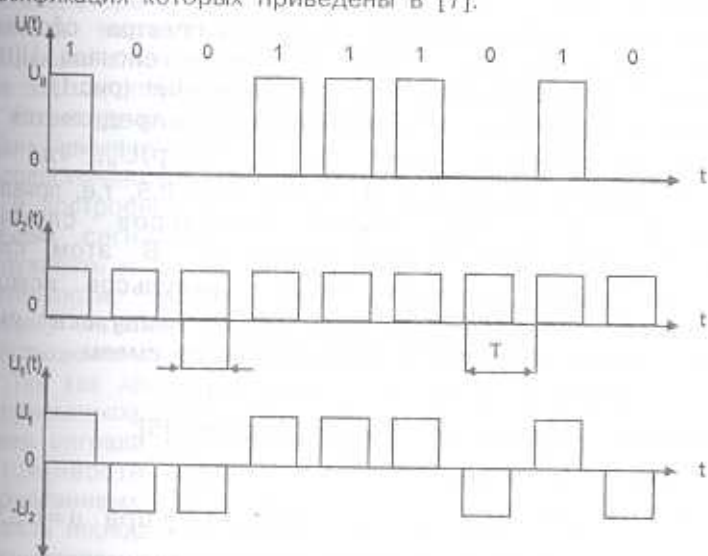


Рис. 1

В общем случае для формирования символов двоичного кода используются способы возврата к нулю (ВН-РЗ) и безвозврата к

нулю (БВН-NRZ). В случае ВН любой символ кодовой комбинации обязательно начинается и заканчивается на нулевом уровне. В случае БВН в коде используются положительный и отрицательный потенциальные уровни, которые симметричны относительно нулевого уровня. Причем нулевой уровень для кодирования не применяется, за исключением случая отсутствия информационных символов. На основе методов ВН и БВН построено большое разнообразие двоичных кодов [2,4,7]. Однако в ВОСС используются только положительные двухуровневые сигналы. Одной из важных характеристик двоичных кодов является их энергетический спектр. Как показывают многочисленные исследования для кодовой последовательности импульсов со случайной амплитудой, энергетический спектр определяется следующим соотношением [6]:

$$G(\omega) = [2\tau_0^2/T] |G(\omega\tau_0)|^2 \{ \sigma_0^2 + [2\pi/T] \bar{U}_0^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - 2\pi n/T) \}, \quad (1)$$

где  $\tau_0$  - длительность импульсов;  $T$  - период последовательности;  $\sigma_0^2$  - дисперсия случайного сигнала;  $\bar{U}_0^2$  - среднее значение случайной амплитуды импульсов;  $\delta(\omega - 2\pi n/T)$  - дельта-функция;  $|G(\omega\tau_0)|$  - модуль спектральной плотности одиночного импульса.

Из выражения (1) можно получить

$$G(\omega) = [2\tau_0^2\sigma_0^2/T] |G(\omega\tau_0)|^2 + [4\pi\tau_0^2\bar{U}_0^2/T^2] |G(\omega\tau_0)|^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - 2\pi n/T) = G_1(\omega) + G_2(\omega). \quad (2)$$

Здесь  $G_1(\omega)$  и  $G_2(\omega)$  - непрерывная и дискретная составляющие спектра.

Использование такой методики разбиения спектра обосновано в [5,6], где показано разложение двоичного сигнала  $U(t)$  на периодическую  $U_2(t)$  и случайную  $U_1(t)$  составляющие (рис.1).

Амплитуда периодической компоненты определяется как  $U_2 = pU_0$ , а случайной компоненты -  $U_1 = (1-p)U_0$ , где  $p$  - вероятность появления импульсов. На практике  $p=0,5$ , т.е. появление положительных и отрицательных импульсов случайной последовательности обычно равновероятно. В этом случае  $U_1 = U_2 = U_0/2$ , где  $U_0$  - амплитуда импульсов исходной последовательности. Отметим, что здесь импульсы имеют прямоугольную форму. Для этой формы импульсов имеем

$$|G(\omega\tau_0)|^2 = [(\sin \omega\tau_0/2)/(\omega\tau_0/2)]^2. \quad (3)$$

Тогда дискретная составляющая спектра (2) равна [5]:

$$G(nF_T) = \begin{cases} p^2 U_0^2 (\tau_0/T)^2 & \text{при } n=0, \\ 2p^2 U_0^2 (\tau_0/T)^2 [\sin^2(\pi n\tau_0/T)/(\pi n\tau_0/T)^2] & \text{при } n=1,2,3. \end{cases} \quad (4)$$

где  $F_T = 1/T$  - тактовая частота последовательности импульсов.

Непрерывная составляющая определяется множителем  $\sin^2(\pi n\tau_0/T)/(\pi n\tau_0/T)^2$ , т.е. формой одиночного импульса по (3), только при этом  $n/T$  заменяется частотой  $f$ .

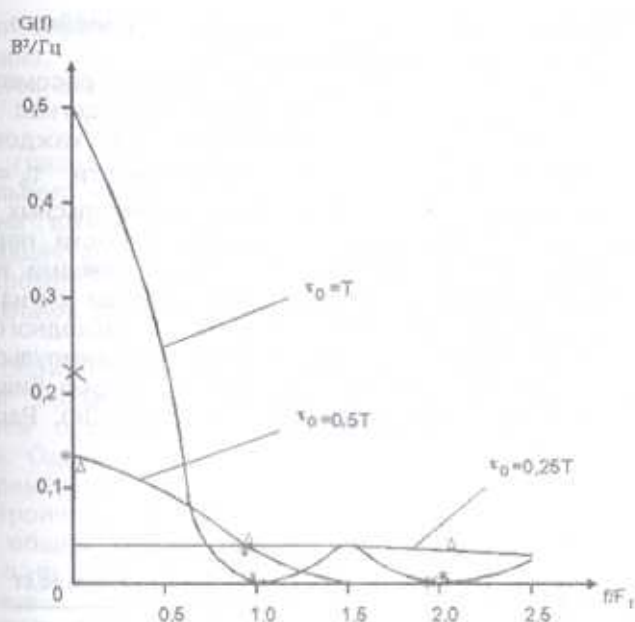


Рис. 2

Спектр линейного двоичного сигнала определяется по формуле (4) (рис.2). Символу  $x$  соответствует случай  $\tau_0 = T$ , символу  $*$  -  $\tau_0 = 0,5T$  и символу  $\Delta$  -  $\tau_0 = 0,25T$  для дискретной составляющей спектра. Как видно, в спектре содержится постоянная составляющая, а также компонента тактовой частоты, которая может быть выделена в регенераторе в качестве хранирующего сигнала. Наблюдается мощность высокочастотных составляющих, что приводит к переходным влияниям. Кроме того, низкочастотная часть спектра также высока, что в конечном счете влияет на работу регенератора.

Несмотря на отмеченные недостатки, линейный сигнал (рис.1) находит применение из-за простоты его формирования (например, непосредственно на выходе каналообразующей аппаратуры ИКМ или ДМ) и построения регенераторов. К вышеуказанным недостаткам двоичных сигналов следует добавить также невозможность обнаруживать и исправлять ошибки. Для этого требуется введение избыточности, что возможно путем увеличения числа уровней (позиций) сигнала (основание кода следует выбрать больше двух) или повышения скорости передачи сигнала в линейном тракте.

Так как характеристики оптических квантовых генераторов и фотоприемников существенно нелинейны, то при увеличении числа уровней сигнала они получаются неравномерными, что приводит к неустойчивости работы регенераторов. Кроме того, для многоуровневых сигналов из-за МСИ требуется более высокая мощность передачи, чем для двухуровневых. В обычных кабельных и других линиях связи многоуровневые сигналы получили широкое применение. Повышение скорости передачи сигнала в обычных кабельных линиях связи приводит к заметному увеличению затухания линии и ослаблению сигнала. В ВОЛС такое увеличение скорости приводит к незначительному возрастанию затухания и повышению

переходных влияний [3,5]. Поэтому двоичные линейные сигналы получили наибольшее распространение в ВОСС.

Широко распространенной разновидностью рассмотренного выше двоичного сигнала является биимпульсный сигнал (рис.3а). Здесь для передачи двоичных символов на каждом такте используются два импульса равной длительности  $\tau_0 = T/2$  и противоположной полярности. В абсолютных биимпульсных сигналах (рис. 3б) символы "1" исходной последовательности передаются биимпульсами типа "10", а символы "0" - биимпульсами типа "01" (рис.3а). Для передачи относительных биимпульсных сигналов ОБС используется следующий алгоритм: символы "1" исходного кода в текущем тактовом интервале передаются теми же биимпульсами, что и в предыдущем; при передаче же символов "0" форма биимпульсов меняется по сравнению с предыдущим тактом (рис.3в). Рассмотрим спектры этих сигналов.

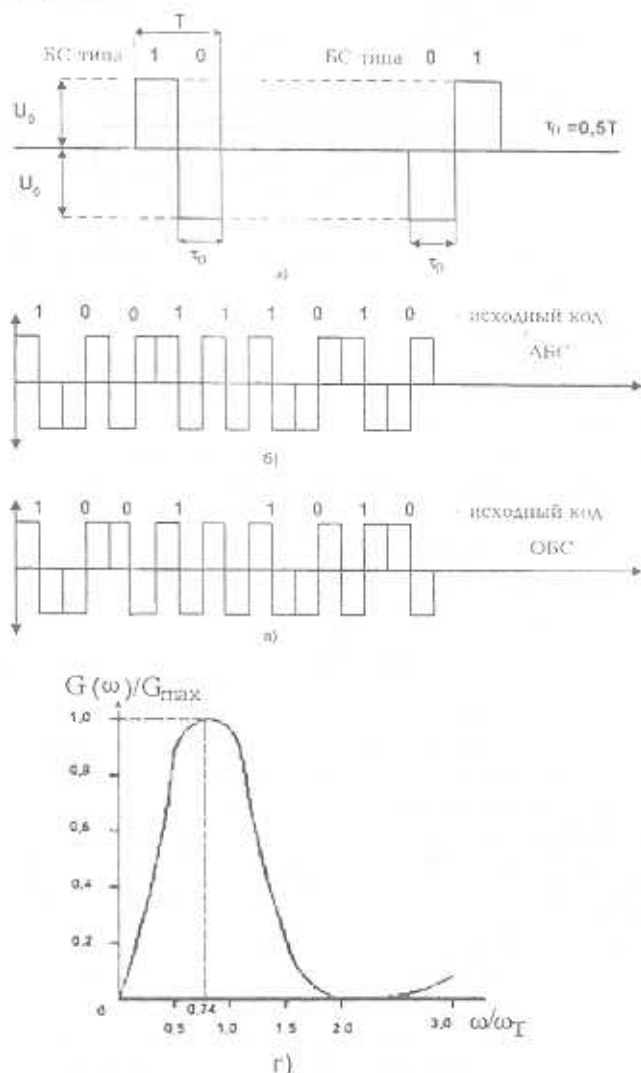


Рис.3

Если вероятность появления символов "1" и "0" в исходном коде равна, то энергетический спектр биимпульсного сигнала описывается следующим выражением [1]:

$$G(\omega) = [U_0^2 T / 2] [\sin(\omega T / 4) / (\omega T / 4)]^2. \quad (5)$$

Из графика этой функции, нормированного относительно максимального значения  $G_{\max}$  (рис.3в), видно, что биимпульсный сигнал не имеет постоянной составляющей, а низкочастотная составляющая значительно меньше, чем у сигналов, показанных на рис.1. Кроме того, здесь более высока доля высокочастотной составляющей за счет уменьшения длительности элементарных посылок.

В серийно выпускаемой аппаратуре ИКМ применяются троичные коды. Поэтому при использовании ИКМ в ВОСС приходится осуществлять преобразование троичных сигналов в двоичные. Однако часто используется и обратное преобразование, т.е., например, один символ двоичного кода преобразуется в один символ троичного кода. Такое преобразование обозначается как 1В1Т. В общем случае данное преобразование имеет вид  $mBnT$ , причем  $n > m$ . На практике для двоичных кодов используются аналогичные преобразования типа 1В2В, 5В6В, 5В7В, 3В4В, 7В10В, 6В8В. Особенностью этих кодов является то, что увеличение скорости  $n/m \leq 2$ . Основные цели, преследуемые при этих преобразованиях, следующие: уменьшение полосы частот, подавление постоянной составляющей, обнаружение и коррекция ошибок [3].

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. При выборе кода передачи важно учитывать сложность кодека, скорость двоичного потока, уровни НЧ и ВЧ составляющих, возможность обнаружения ошибок и помехоустойчивость [2,3,5].

2. Для цифровых ВОСС наиболее подходящими являются двоичные коды и соответствующие системы ИКМ и ДМ.

3. Предпочтительны следующие преобразования кодов: 2В3В, 3В4В, 5В6В и др. [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бокер П. Передача данных.-М.: Связь, 1980. - 264с.
2. Пенин П.И. Системы передачи цифровой информации.-М.:Сов.радио, 1976. - 368 с.
3. Мурадян А.Г., Гинзбург С.А. Системы передачи информации по оптическому кабелю. - М.:Связь, 1980. - 160с.
4. Cheo P.K. Fiber Optics and Optoelectronics // Prentice-Hall Inc. - New-Jersey, 1990. -448 p.
5. Левин Л.С., Плоткин М.А. Цифровые системы передачи информации. - М.: Радио и связь, 1982. - 216 с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники: Кн.1. - М.: Сов.радио, 1974. - 552 с.
7. Березюк Н.Т. и др. Кодирование информации (двоичные коды) - Харьков: Высшая школа, 1976. - 252 с.